

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/DE05/000070

International filing date: 20 January 2005 (20.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 10 2004 005 325.1
Filing date: 04 February 2004 (04.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 16 March 2005 (16.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 10 2004 005 325.1

Anmeldetag: 4. Februar 2004

Anmelder/Inhaber: Conti Temic microelectronic GmbH, 90411 Nürnberg/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Detektion des Brennbegins einer Brennkraftmaschine

IPC: F 02 D 41/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 7. März 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schäfer

Verfahren zur Detektion des Brennbegins einer Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Detektion des Brennbegins einer Brennkraftmaschine mit mehreren Zylindern mittels eines für eine Welle
5 der Brennkraftmaschine ermittelten Drehzahlsignals.

Bei einer insbesondere selbstzündenden Brennkraftmaschine kann es dazu kommen, dass die Verbrennung in den jeweiligen Zylindern nicht zu dem bestmöglichen Zeitpunkt stattfindet. Diese unerwünschte Abweichung wird
10 durch Alterungseffekte oder durch Fertigungstoleranzen bedingt. Sie kann eine Erhöhung des Abgasausstoßes, eine Zunahme des Kraftstoffverbrauches oder auch eine Verschlechterung des Rundlaufes der Brennkraftmaschine zur Folge haben.

15 Bekannt sind Verfahren, die den genauen Zeitpunkt des Brennbegins mittels zusätzlich vorgesehener Sensoren ermitteln. In der DE 33 02 219 A1 sowie in der DE 197 49 817 A1 werden Verfahren beschrieben, die den Druckverlauf im Zylinder-Innenraum mittels Druck-Sensoren bestimmen. Außerdem werden mit der DE 25 13 289 A1, DE 44 13 473 A1 und der
20 DE 196 12 180 C1 Verfahren offenbart, die den Körperschall außen am Gehäuse der Brennkraftmaschinen erfassen. Anhand der so gemessenen Druck- und/oder Körperschallsignale wird auf den Brennbeginn der Brennkraftmaschine zurückgeschlossen. Die bei den bekannten Verfahren zusätzlich erforderlichen Sensoren bedeuten einen nicht unerheblichen
25 Mehraufwand.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren der eingangs bezeichneten Art anzugeben, das die Erfassung des Brennbegins mit möglichst einfachen Mitteln erlaubt.

Diese Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des Anspruches 1. Das erfindungsgemäße Verfahren kommt regelmäßig ohne zusätzliche Sensorik aus. Es basiert als Messgröße nur auf dem Drehzahlsignal, das in der Regel ohnehin ermittelt wird und somit in einem Steuergerät der Brennkraftmaschine bereits vorliegt. Darüber hinaus lässt sich der exakte Brennbeginn einfach anhand des in den Winkelfrequenzbereich transformierten Zylindersignals ermitteln. Hierzu fallen keine aufwendigen Rechenoperationen an. Für die Transformation in den Winkelfrequenzbereich kann gegebenenfalls auf ohnehin im Steuergerät vorhandene Signaltransformationsverfahren zurückgegriffen werden.

Besondere Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Die Gegenstände der Ansprüche 2 und 3 betreffen jeweils eine vorteilhafte Methode zur Generierung des Zylindersignals, das die auszuwertenden Informationen des gerade interessierenden Zylinders umfasst.

Die Ausgestaltungen nach den Ansprüchen 5 bis 9 betreffen günstige Möglichkeiten zur Signalverbesserung, die insbesondere vor der Überführung in den Winkelfrequenzbereich durchgeführt werden. Mittels dieser vorgeschalteten Verfahrensschritte lässt sich der Brennbeginn noch genauer feststellen, da dann auch die im Winkelfrequenzbereich entnehmbare und diesbezüglich relevante Signalinformation mit einer höheren Genauigkeit ermittelt werden kann.

Gemäß der Ausgestaltung nach Anspruch 10 lässt sich das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine verbessern, indem der ermittelte exakte Brennbeginn zur (Nach-)Regelung des betreffenden Zylinders herangezogen

wird. Die eingangs beschriebenen Unzulänglichkeiten lassen sich dann weitgehend vermeiden.

5 Bevorzugte Ausführungsbeispiele, sowie weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden nunmehr anhand der Zeichnung näher erläutert. Zur Verdeutlichung ist die Zeichnung nicht maßstäblich ausgeführt, und gewisse Aspekte sind nur schematisiert dargestellt. Im Einzelnen zeigen:

10 Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel des Verfahrens zur Brennbeginn-Detektion und

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel.

15 Einander entsprechende Teile sind in den Fig. 1 und 2 mit denselben Bezugszeichen versehen.

20 Das in Fig. 1 dargestellte erste Ausführungsbeispiel dient zur Detektion des Brennbeginns einer insbesondere selbstzündenden Brennkraftmaschine 1, die vier Zylinder 2, 3, 4 und 5 aufweist. Die Zylinderanzahl ist jedoch nur exemplarisch zu verstehen. Das Verfahren kann ebenso auf eine Brennkraftmaschine 1 mit einer anderen Zylinderanzahl angewendet werden. An einer Welle 6, insbesondere der Kurbelwelle, der Brennkraftmaschine 1 ist ein Geberrad 7 angebracht, das über den Umfang verteilt, äquidistant Markierungen aufweist. Diese im Ausführungsbeispiel nicht näher gezeigten
25 Markierungen können beispielsweise in Form von Zähnen oder auch Löchern ausgebildet sein. Ein dem Geberrad 7 zugeordneter Sensor 8, beispielsweise in Gestalt eines Induktivgebers, liefert genau dann ein Signal, wenn sich eine der Markierungen am Sensor 8 vorbeibewegt. Dieses Signal wird einem Steuergerät 9 zugeführt.

Das Steuergerät 9 umfasst neben anderen nicht dargestellten Einheiten mehrere auch zur Brennbeginnermittlung bestimmte Untereinheiten. Dies sind eine Drehzahleinheit 10, eine Mittelungseinheit 11, eine Geberradkorrekturereinheit 12, eine Signalrekonstruktionseinheit 13, eine Segmentierungseinheit 14, eine Analyseeinheit 15 und ein Regler 16. Diese Untereinheiten können physikalisch getrennt, beispielsweise als gesonderte elektronische Baugruppen oder auch zu einer einzigen physikalischen Einheit zusammengefasst vorliegen. Letzteres ist insbesondere im Fall einer programmtechnischen Realisierung der Untereinheiten 10 bis 16 auf einem Signalprozessor möglich. Ebenso denkbar ist eine Mischform.

Im Folgenden wird die Funktionsweise der Brennbeginn-Detektion und -Nachregelung näher beschrieben. Das vom Sensor 8 gelieferte Zeitbereichs-Signal wird in der Drehzahleinheit 10 in ein Drehzahlsignal, das sich – wie bei der Steuerung von Brennkraftmaschinen üblich – auf den Drehwinkelbereich bezieht, umgewandelt. Das Drehzahlsignal gibt in Abhängigkeit vom Drehwinkel der Welle 6 die jeweils aktuell vorliegende Wellendrehzahl oder Wellendrehbeschleunigung an.

Anschließend wird aus dem Drehzahlsignal ein Segmentsignal SS mit einem Drehwinkelbereich extrahiert, innerhalb dessen jeder der Zylinder 2 bis 5 genau einmal zündet. Im Fall des Ausführungsbeispiels ist dies ein Segment entsprechend einer zweifachen Vollumdrehung der Welle 6, also mit einem 720 Grad-Drehwinkelbereich. Je nach Art der Brennkraftmaschine 1 oder der zur Erfassung des Drehzahlsignals verwendeten Welle 6, die anstelle als Kurbelwelle auch als Nockenwelle ausgebildet sein könnte, kann der Drehzahlbereich des Segmentsignals SS jedoch grundsätzlich auch eine andere Größe aufweisen.

Die Erfassung des Drehzahlsignals und auch des Segmentsignals erfolgt derzeit praktisch in jedem Steuergerät 9 einer Brennkraftmaschine 1. Es handelt sich somit nicht um gesondert für die Brennbeginn-Detektion vorgesehene Erfassungsmittel.

5

Die im Folgenden beschriebenen Verfahrensschritte gehen stets von dem Vorliegen eines quasi stationären Betriebszustandes der Brennkraftmaschine 1 aus.

10 Die Verfahrensschritte, die in der Mittelungseinheit 11, in der Geberradkorrekturereinheit 12 und der Signalrekonstruktionseinheit 13 vorgenommen werden, sind optional. Sie dienen einer Verbesserung der Signalqualität des Segmentsignals SS. Je höher dessen Qualität ist, desto genauer lässt sich letztendlich auch der Brennbeginn bestimmen.

15

In der Mittelungseinheit 11 wird der arithmetische Mittelwert zweier oder mehrerer aufeinanderfolgender Segmentsignale SS gebildet. Hierdurch lassen sich insbesondere zyklische Schwankungen, die beispielsweise von einer ungleichmäßigen Verbrennung herrühren, eliminieren.

20

Aufgrund mechanischer Fertigungstoleranzen kann es zu Ungenauigkeiten bei den an dem Geberrad 7 angeordneten Markierungen kommen. So können sich diese Markierungen nicht in äquidistanten Abständen voneinander befinden. Die dadurch im Segmentsignal SS hervorgerufenen Ungenauig-

25

keiten lassen sich anhand bekannter Korrekturverfahren beseitigen. Mit der DE 41 33 679 A1, DE 42 21 891 C2 und der DE 196 22 042 C2 werden derartige Korrekturverfahren beschrieben. Ermittelt werden hierbei Korrekturwerte, die im Steuergerät 9 hinterlegt werden, und anhand derer das

Drehzahlsignal und auch das Segmentsignal von den genannten Geberradfehlern befreit werden können.

5 Eine weitere Möglichkeit zur Signalverbesserung besteht in der Anwendung eines Signalrekonstruktionsverfahrens. Die Markierungen auf dem Geberrad 7 befinden sich üblicherweise in Drehwinkel-Abständen von 6 Grad oder auch 10 Grad. Hierdurch wird die Drehzahl der Welle 6 jedoch für manche Anwendungen zu ungenau abgetastet. Derzeit gängige Anwendungen, wie beispielsweise eine Laufruheregung oder auch eine Brenn-
10 beginnregelung, arbeiten besser, wenn eine höhere Abtastrate vorliegt. Der Einsatz eines Geberrades 7 mit einer größeren Anzahl von Markierungen ist jedoch nicht unproblematisch, da mit steigender Markierungsanzahl der lichte Raum zwischen den einzelnen Markierungen sinkt und damit die Gefahr einer Verschmutzung ansteigt. Eine mögliche Konsequenz wäre das
15 Übersehen einzelner Markierungen.

Die Abtastrate lässt sich aber dennoch mittels bestimmter Verfahren der digitalen Signalverarbeitung erhöhen. Eine erste Möglichkeit ist eine Interpolation im Drehwinkelbereich zwischen den durch die Abtastrate des Geberrades 7 bestimmten Abtastwerten. Neben einer einfachen linearen Interpolation kommt insbesondere auch eine Lagrange-Interpolation oder eine sinc-Interpolation in Betracht. Die diesbezüglich besonders vorteilhafte Lagrange-Interpolation ist ein spezielles Polynom-Interpolationsverfahren. Verglichen mit anderen grundsätzlich ebenfalls einsetzbaren Interpolationspolynomen höherer Ordnung bietet die Lagrange-Interpolation den Vorteil, ohne die Lösung eines relativ aufwendigen Gleichungssystems auszukommen. Die sinc-Interpolation basiert auf einer mathematischen Faltungsoperation.

Sowohl die Lagrange-Interpolation als auch die sinc-Interpolation liefern bei einem periodischen und bandbegrenzten Signal, im Ausführungsbeispiel dem Segmentsignal SS, unter Berücksichtigung des Abtasttheorems eine exakte Signalrekonstruktion, wodurch sie sich vorteilhaft von einer linearen und auch anderen, höhergradigen Polynom-Interpolation unterscheiden.

Eine zweite Möglichkeit zur Erhöhung der Abtastrate ist eine Frequenztransformation des Segmentsignals in den Winkelfrequenzbereich. Diese Transformation erfolgt insbesondere mittels einer diskreten Fourier-Transformation (DFT) oder einer diskreten Hartley-Transformation (DHT). Im Unterschied zur Fourier-Transformation werden bei der Hartley-Transformation günstigerweise nur rein reelle Operationen vorgenommen. Dadurch ergibt sich ein geringerer Rechenaufwand. Beide Transformationen liefern jeweils einen Amplituden- und einen Phasenwert bei diskreten Winkelfrequenzen, die im Bereich der Brennkraftmaschinen auch als Ordnungen bezeichnet werden. Ein kontinuierliches Rekonstruktionssignal für das Segmentsignal SS ergibt sich anhand einer Superposition harmonischer Teilschwingungen derjenigen Ordnungen (=Winkelfrequenzen), für die im Winkelfrequenzbereich relevante Spektralanteile, also Amplituden- und Phasenwerte, ermittelt worden sind. Die einzelnen harmonischen Teilschwingungen sind dabei mit dem jeweils zugehörigen Amplituden- und Phasenwert gewichtet. Eine exakte Rekonstruktion des Segmentsignals SS ist auf diese Weise und bei Einhaltung des Abtasttheorems möglich, sofern das zugrundeliegende Signal periodisch und bandbegrenzt ist.

Sowohl die Interpolations- als auch die Frequenztransformationsmethode liefern ein rekonstruiertes Signal, das in Form eines analytischen Funktionsausdruckes vorliegt. Diesem kann dann an beliebigen Stellen im Dreh-

winkelbereich, also insbesondere auch zwischen den messtechnisch ermittelten Abtaststellen, der benötigte Funktionswert entnommen werden. Somit ergibt sich die gewünschte höhere Abtastrate. So lässt sich aus einem Segmentsignal SS mit einer ursprünglichen Abtastrate von 10 Grad ein
5 modifiziertes Segmentsignal mit einer beliebig höheren Abtastrate, beispielsweise mit einer 0,1 Grad-Abtastung erzeugen.

Sowohl das besonders vorteilhafte Lagrange-Interpolationsverfahren als auch die genannten Frequenz-Transformationsverfahren (DFT, DHT) lassen sich als sogenannte FIR-Filter (= finite impulse response) realisieren.
10 Grundsätzlich sind jedoch auch andere Realisierungsformen denkbar.

Nach Durchlaufen der zur Signalverbesserung vorgesehenen Untereinheiten 11, 12 und/oder 13 liegt ein verbessertes Segmentsignal SS^* vor, das
15 die Informationen über den Brennbeginn in den Zylindern 2 bis 5 beinhaltet.

Das verbesserte Segmentsignal SS^* wird in der Segmentierungseinheit 14 in insgesamt vier Zylindersignale ZS1, ZS2, ZS3 und ZS4 zerlegt. Jedes
20 Zylindersignal ZS1 bis ZS4 beinhaltet dann nur noch Informationen über die Zündung in einem einzigen Zylinder. Die Zylindersignale ZS1 bis ZS4 können dabei im vorliegenden Ausführungsbeispiel einen Winkelbereich von bis zu 180 Grad erfassen. Günstig ist jedoch eine Extraktion von Zylindersignalen ZS1 bis ZS4 aus dem verbesserten Segmentsignal SS^* , die
25 nur einen Winkelbereich umfassen, innerhalb dessen der eigentliche Zündvorgang in dem jeweiligen Zylinder 2 bis 5 tatsächlich stattfindet, also insbesondere jeweils der um den oberen Zylinder-Totpunkt gelegene Bereich. Hierfür reicht beispielsweise ein Drehwinkelbereich von etwa 40 bis 50 Grad aus.

Die so ermittelten Zylindersignale ZS1 bis ZS4 werden der Analyseeinheit
15 zugeführt, die für jedes Zylindersignal ZS1 bis ZS4 eine Frequenztrans-
formation in den Winkelfrequenzbereich durchführt. Dies kann wiederum
mittels einer DFT, einer DHT oder einer digitalen Filterung, beispielsweise
5 in Form einer digitalen Bandpass-Filterung mit variabler Mittenfrequenz
oder in Form digitaler Filterbänke, geschehen. Diese Überführung in den
Winkelfrequenzbereich erzeugt aus den Zylindersignalen ZS1, ZS2, ZS3
und ZS4 jeweils zugehörige Zylinderfrequenzsignale FS1, FS2, FS3 bezie-
hungsweise FS4. Für Letztere liegen dann jeweils wiederum Amplituden-
10 und Phasenwerte bei zugehörigen diskreten Winkelfrequenzen vor.

Diese Signalinformationen, also die Winkelfrequenzen nebst ihren zugehö-
rigen Amplituden- und Phasenwerten, beinhalten die im zugrundeliegenden
jeweiligen Zylindersignal ZS1 bis ZS4 enthaltenen Informationen über den
15 Betriebszustand im jeweiligen Zylinder 2 bis 5. Insbesondere lässt sich aus
diesen Signalinformationen auch der exakte Brennbeginn im jeweiligen
Zylinder 2 bis 5 auf einfache Weise entnehmen. Dies kann mittels eines
Vergleichs mit beispielsweise empirischen Erfahrungswerten oder auch mit
vorab ermittelten Referenzwerten erfolgen. Die Erfahrungs- und/oder Refe-
20 renzwerte sind vorzugsweise in der Analyseeinheit 15 hinterlegt. Ebenso
kann auch auf die Signalinformationen der besonders signalstarken Win-
kelfrequenzen zurückgegriffen werden. In Frage kommen hierfür bevor-
zugt diejenigen Winkelfrequenzen, bei denen der Amplitudenwert über
einer Schwelle, insbesondere über der 3dB-Schwelle, liegt. Die Signalin-
25 formation, vorzugsweise die Phaseninformation, der so ermittelten speziel-
len Winkelfrequenz wird dann als den Brennbeginn im jeweiligen Zylinder
2 bis 5 wiedergebendes Brennbeginnsignal BS1, BS2, BS3 und BS4 der
Analyseeinheit 15 zur Verfügung gestellt.

Die Brennsignale BS1 bis BS4 werden einem Regler 16 zugeführt, der die enthaltene Information über den Brennbeginn zur (Nach-)Regelung des jeweiligen Zylinders 2 bis 5 verwendet, zumindest sofern dies von einer gegebenenfalls vorhandenen übergeordneten Reglerbegrenzung noch als
5 zulässig eingestuft wird. Die (Nach-)Regelung kann beispielsweise mittels einer Variation des Förderbeginns an einer nicht näher dargestellten Einspritzpumpe der Brennkraftmaschine 1 geschehen. Insbesondere kann die Regelung anhand mindestens eines last- und/oder drehzahlabhängigen Phase-Förderbeginn-Kennlinienfeldes erfolgen. Dadurch wird individuell für
10 jeden der Zylinder 2 bis 5 der Brennbeginn auf den optimalen Zeitpunkt eingestellt. Dies ist insbesondere möglich, ohne dass für das vorstehend beschriebene Verfahren wesentliche zusätzliche Hardware-Komponenten in dem Steuergerät 9 oder an der Brennkraftmaschine 1 erforderlich werden. Insbesondere ist auch keine zusätzliche Erfassung spezieller Betriebs-
15 parameter der Brennkraftmaschine 1 notwendig. Es ergibt sich eine sehr kostengünstige Realisierung für die Detektion des Brennbeginns und für die zylinderindividuelle Nachregelung des Brennbeginnzeitpunktes.

Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben. Identische Teile erhalten dieselben Bezugszeichen wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel, auf dessen Beschreibung hiermit verwiesen wird. Der wesentliche Unterschied besteht in dem Austausch der Segmentierungseinheit 14 gegen eine Verstelleinheit
20 17, die beim zweiten Ausführungsbeispiel der Drehzahleinheit 10 unmittelbar nachgeschaltet ist.

Die Funktionsweise der Verstelleinheit 17 liegt im wesentlichen darin, beispielsweise den Zylinder 2, für den der Brennbeginn aktuell ermittelt werden soll, in seinem Betriebszustand so zu verstellen, dass der vom Zylinder

2 im resultierenden Drehzahlsignal bzw. Segmentsignal SS hervorgerufene
Signalanteil deutlich gegenüber denjenigen der anderen drei Zylinder 3 bis
5 hervortritt. Das Segmentsignal SS ist dann praktisch ausschließlich durch
den aktuell interessierenden Zylinder 2 bestimmt. Die Verstellung des Be-
triebszustandes erfolgt beispielsweise durch eine zielgerichtete Erhöhung
5 der zugeführten Kraftstoffmenge. Andere Verstellmöglichkeiten sind je-
doch grundsätzlich ebenfalls möglich.

10 Aufgrund der Dominanz des durch den verstellten Zylinder 2 hervorgeru-
fenen Signalanteils im Segmentsignal SS entfällt die Notwendigkeit einer
weiteren Segmentierung in der Segmentierungseinheit 14 gemäß erstem
Ausführungsbeispiel. Das verbesserte Segmentsignal SS* wird als Ganzes
als Zylindersignal ZS1 herangezogen. Die übrigen Verfahrensschritte lau-
fen analog zum ersten Ausführungsbeispiel ab, allerdings mit der Maßgabe,
15 dass nur für den relevanten Zylinder 2 von der Analyseeinheit 15 ein
Brennbeginnsignal BS1 generiert wird. In diesem Verfahrenszyklus lässt
sich demzufolge auch nur der Zylinder 2 nachregeln. Für die übrigen Zy-
linder 3 bis 5 geschieht dies danach in sequenzieller Abfolge. Die Verstell-
einheit 17 verstellt nacheinander den Betriebszustand in jeweils einem der
20 übrigen Zylinder 3 bis 5 signifikant. Vorteilhafterweise erfolgt der Eingriff
der Verstelleinheit 17 jeweils erst dann, wenn die Brennkraftmaschine 1
ihren quasi stationären Betriebszustand erreicht hat. Dies lässt sich leicht
anhand des in der Drehzahleinheit 10 ermittelten Drehzahlsignals oder
auch des Segmentsignals SS feststellen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion des Betriebsbeginns einer Brennkraftmaschine (1) mit mehreren Zylindern (2, 3, 4, 5) mittels eines für eine Welle (6) der Brennkraftmaschine (1) ermittelten Drehzahlsignals, bei dem
 - 5 - aus dem Drehzahlsignal mindestens ein Segmentsignal (SS) mit einer Signallänge entsprechend einer ganzzahligen Vollumdrehung der Welle (6) extrahiert wird, so dass in dem durch die Signallänge repräsentierten Drehwinkelbereich jeder Zylinder (2, 3, 4, 5) einmal zündet,
 - 10 - aus dem Segmentsignal (SS) ein im wesentlichen den Betriebszustand in einem der Zylinder (2, 3, 4, 5) wiedergebendes Zylindersignal (ZS1, ZS2, ZS3, ZS4) erzeugt wird,
 - 15 - das Zylindersignal (ZS1, ZS2, ZS3, ZS4) in ein Zylinderfrequenzsignal (FS1, FS2, FS3, FS4) in einem Winkelfrequenzbereich überführt wird und
 - 20 - aus dem Zylinderfrequenzsignal (FS1, FS2, FS3, FS4) bei mindestens einer vorgegebenen Winkelfrequenz eine den Brennbeginn im zugehörigen Zylinder (2, 3, 4, 5) beinhaltende Signalinformation extrahiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zylindersignal (ZS1, ZS2, ZS3, ZS4) mittels Extraktion eines Teilsignals aus dem Segmentsignal (SS) erzeugt wird, wobei das Teilsignal den
 - 25 Drehwinkelbereich erfasst, innerhalb dessen der betreffende Zylinder (2, 3, 4, 5) zündet.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Betriebszustand in dem Zylinder (2), für den der Brennbeginn detektiert

werden soll, verstellt wird und das sich nach der Verstellung ergebende Segmentsignal (SS) insgesamt als das für diesen Zylinder (2) maßgebliche Zylindersignal (ZS1) herangezogen wird.

- 5 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zylinderfrequenzsignal (FS1, FS2, FS3, FS4) mittels einer Frequenztransformation, insbesondere mittels einer diskreten Hartley-Transformation oder einer diskreten Fourier-Transformation, oder mittels digitaler Filterung erzeugt wird.
- 10
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei aufeinanderfolgende Segmentsignale (SS) arithmetisch gemittelt werden.
- 15
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzeugung des Drehzahlsignals ein Geberrad (7) eingesetzt wird und die von Geberradfehlern resultierenden Ungenauigkeiten im Segmentsignal (SS) zumindest weitgehend eliminiert werden.
- 20
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mittels digitaler Signalverarbeitung ein verbessertes Segmentsignal (SS*), insbesondere mit einer höheren Abtastrate, erzeugt wird.
- 25
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Segmentsignal (SS) einem Interpolationsverfahren, insbesondere einer Lagrange- oder einer sinc-Interpolation, unterzogen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Segmentsignal (SS) einer Frequenztransformation, insbesondere einer diskreten Hartley- oder einer diskreten Fourier-Transformation, unterzogen wird.

5

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die den Brennbeginn beinhaltende Signalinformation zur Regelung des Brennbeginns eingesetzt wird.

Zusammenfassung

Das Verfahren dient zur Detektion des Brennbeginns einer Brennkraftmaschine (1) mit mehreren Zylindern (2, 3, 4, 5) mittels eines für eine Welle (6) der Brennkraftmaschine (1) ermittelten Drehzahlsignals. Aus dem Drehzahlsignal wird ein Segmentsignal (SS) mit einer Signallänge entsprechend einer ganzzahligen Vollumdrehung der Welle (6) extrahiert. Aus dem Segmentsignal (SS) wird ein den Betriebszustand in einem Zylinder (2, 3, 4, 5) wiedergebendes Zylindersignal (ZS1, ZS2, ZS3, ZS4) erzeugt.

10 Das Zylindersignal (ZS1, ZS2, ZS3, ZS4) wird in ein Zylinderfrequenzsignal (FS1, FS2, FS3, FS4) in einem Winkelfrequenzbereich überführt. Aus dem Zylinderfrequenzsignal (FS1, FS2, FS3, FS4) wird bei mindestens einer vorgegebenen Winkelfrequenz eine den Brennbeginn im zugehörigen Zylinder (2, 3, 4, 5) beinhaltende Signalinformation extrahiert.

15

- Fig. 1 -

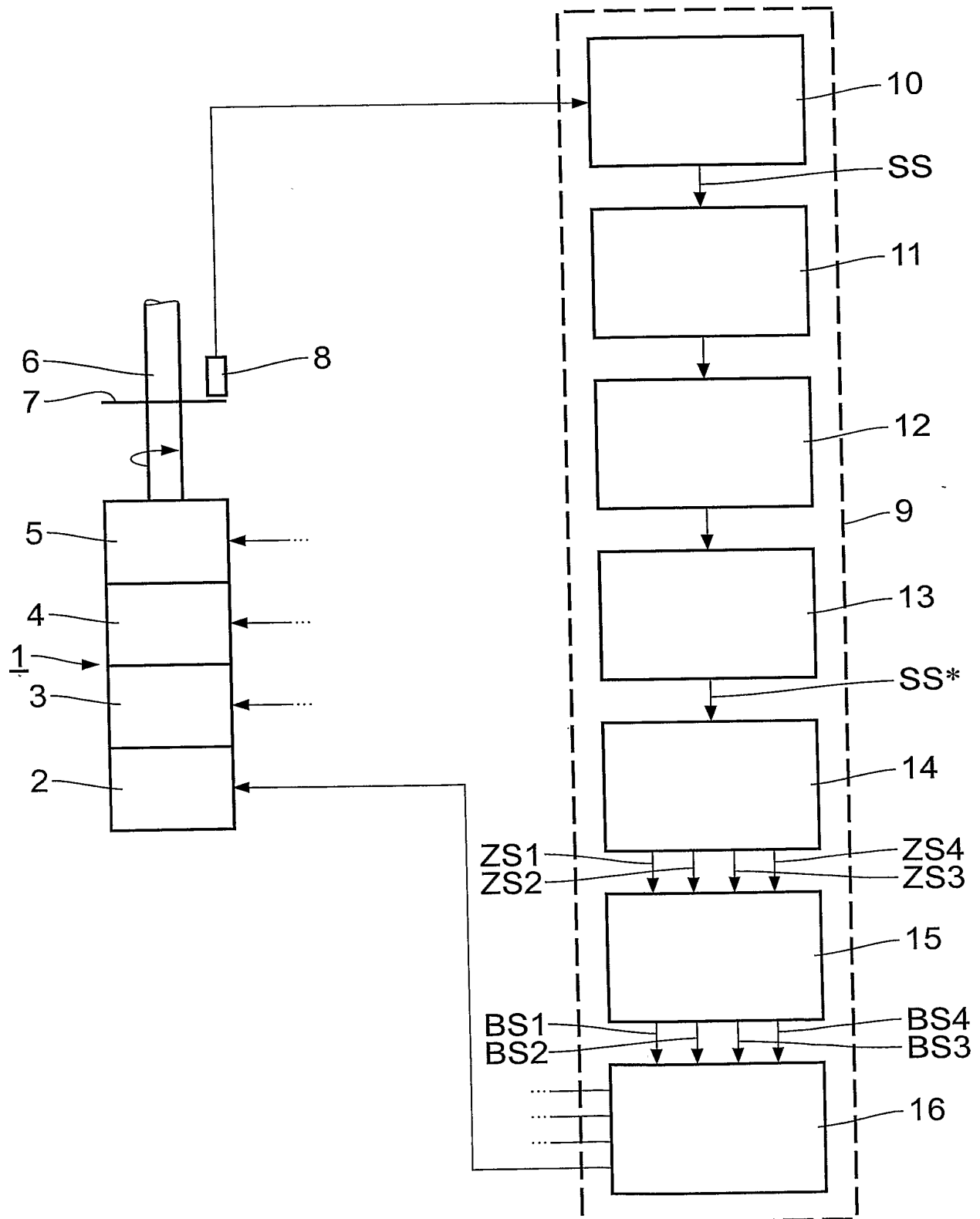


Fig. 1

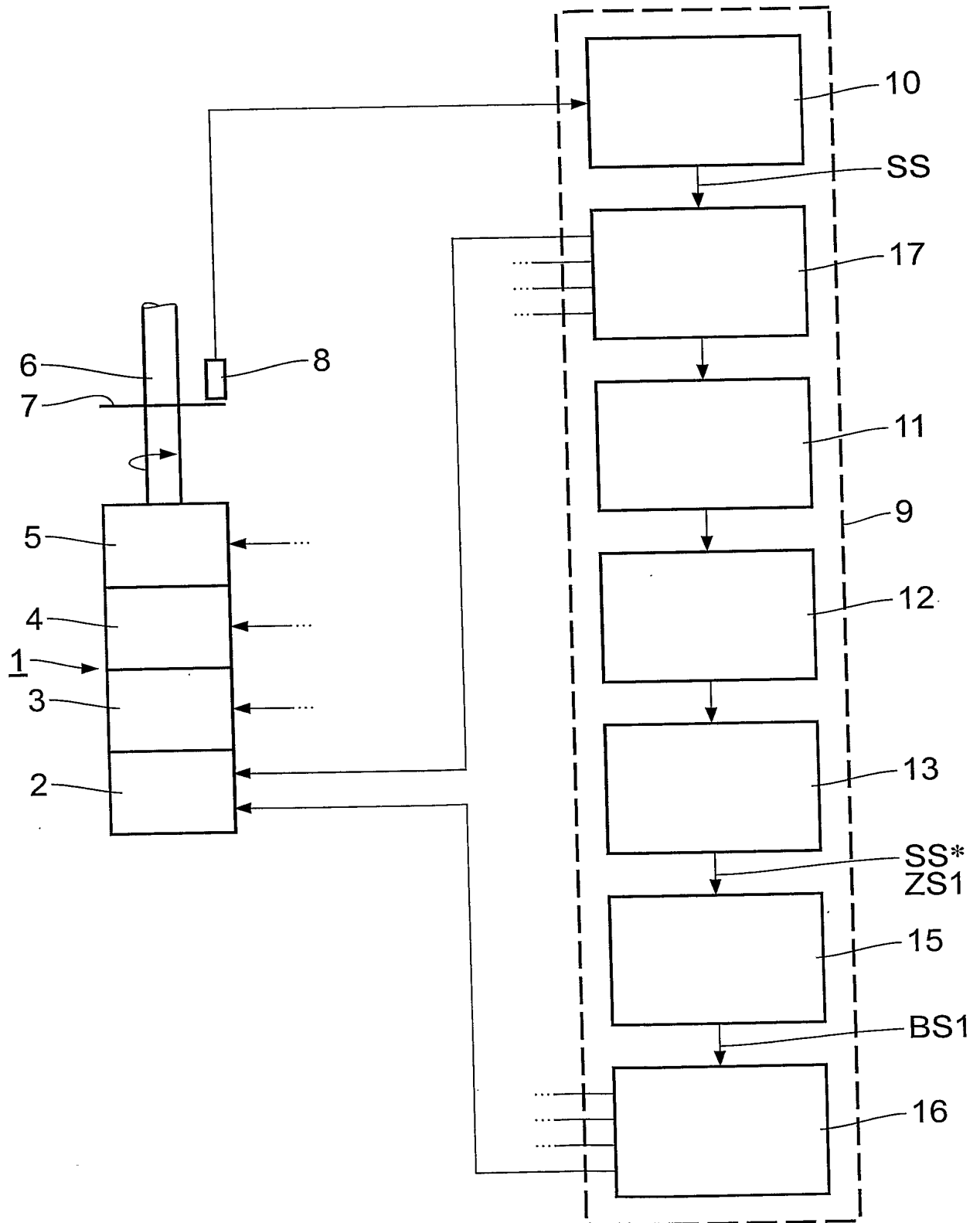


Fig. 2